

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭62-112391

⑬ Int.Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和62年(1987)5月23日

H 01 S 3/18

7377-5F

審査請求 未請求 発明の数 1 (全7頁)

⑮ 発明の名称 半導体レーザ

⑯ 特 願 昭60-253076

⑰ 出 願 昭60(1985)11月12日

⑱ 発 明 者 野 口 悦 男 厚木市森の里若宮3番1号 日本電信電話株式会社厚木電気通信研究所内

⑲ 発 明 者 松 岡 隆 志 厚木市森の里若宮3番1号 日本電信電話株式会社厚木電気通信研究所内

⑳ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉑ 代 理 人 弁理士 田中 正治

明 細 書

1. 発明の名称 半導体レーザ

2. 特許請求の範囲

半導体の内部に回折格子を具備する分布誘導形半導体レーザにおいて、活性層が多重量子井戸構造を有し、光の出射方向に垂直な2つの端面の一方が、へき開面よりも、低い反射率を有する低反射面となり、他方が、へき開面よりも高い反射率を有する反射面となることを特徴とする半導体レーザ。

3. 発明の詳細な説明

発明の属する分野

本発明は、量子井戸構造活性層による偏波面の選択性と、回折格子による波長選択性によりスペクトル純度の高い発振光を得、しかも、共振器の一方の端面に低反射膜を、他方の端面に高反射膜を付けることにより、高出力が得られ、さらに端面の反射率の非対称により単一縦モード発振が得られ易い半導体レーザに関する。

従来の技術

単一モード発振を得るには、活性領域に回折格子を形成し、誘導放出光のブラッグ反射を用いて発振を得る方法、いわゆる分布帰還形(DFB)レーザがある。

このようなレーザにおいて、片端面から高効率で光を取り出すには、出射側の端面を低反射面とし、他端面を高反射面とすることにより可能となると考えられる。

しかし、通常の一層からなる活性層をもつDFBレーザに低反射膜と高反射膜を形成してレーザの高出力化をおこなうと、高反射率端面において反射率が高くなればなるほど、TEモードとTMモード間で反射率に差がなくなる。

その結果として、両端面をへき開で形成したときと比べて、両端面の反射率の組み合わせを数%と70%以上とした時は、TEモードとTMモードとの間にミラー損失に差がなくなる。

そのため、TEモード発振の他にTMモード発振が起こりやすくなり、TEモードとTMモ

ードとが同時に発振したり、注入電流レベルによって、TEモード発振がTMモード発振に変わったりして、注入電流レベルに応じた安定な単一縦モード発振が得られないという欠点があった。

さらに、従来のDFBレーザの場合、両端面の反射率に非対称性がないため、TEモードだけに限しても、単一縦モード発振が得にくいという欠点があり、また、両端面の反射率に非対称性がないため、より大きな光出力を必要とする出射側から、高出力が得られないという欠点があった。

発明の目的

よって本発明は、上述した欠点のない新規な半導体レーザを提案せんとするもので、図折格子の付いた活性層が多重量子構造を有し、TEモードのゲインをTMモードのゲインより数百 cm^{-1} 以上高くすることにより、充分TMモードの発振を抑圧し、高出力化および単一縦モード化のために共振器の両端面に、それぞれ低反射

ser diodes", Electron. Lett., 1983, vol. 19 pp. 166-168)によれば、電子とヘビーホールとの再結合は、MQW層に平行、すなわちTEモードだけが可能である。

また、電子とライトホールとの再結合は、TEモードとTMモードの両方が可能である。

結晶の組合わせによっては、電子とのバンドギャップはヘビーホールの方がライトホールバンドよりも、数eVから十数eVエネルギーが低い。

そのため、電子とヘビーホールとの再結合確立が高くなり、TEモードの利得がTMモードより高くなる。実際の、InGaAs/InAlAs SCH-MQW構造では、TEモードの利得の方が高い(K. Wakita et al., "Polarisation dependent gain-current relationship in InGaAs/InGaAlAs/InAlAs SC

膜及び高反射膜を形成しても、TEモードだけが発振させ、高出力が得られ、安定に、単一縦モード発振が得られることを特徴としている。

発明の構成および作用

第1図は、活性層を量子井戸構造にした場合の電子及びホールの状態密度を示している。

活性層の厚さを100Å以下にし、活性層を、活性層より大きなエネルギーギャップを有するクラッド層で囲むことにより輪道がとけているバンド構造を有していたエネルギーレベルは、不連続な飛び飛びの単位を構成する。

このような量子井戸形レーザでは、価電子帯の飛び飛びの単位に存在するホール(1)と、伝導帯の飛び飛びの単位に存在する電子(2)とで再結合が起こり発振する。

多重量子井戸(MQW)層の理論(H. Kobayashi et al., "Polarisation-dependent gain-current relationship in GaAs-AlGaAs MQW le

H-MQW laser diodes", Electron. Lett., 1985, vol. 21, pp. 193-194)。

また、良く知られているように、一層で形成された活性層よりもMQWで形成された活性層の方が利得が高くなり、レーザの低閾値化が可能である。また、利得分布の幅が狭くなるため、DFBモードの閾値に差が少なくても、単一縦モード発振が容易に得られる。

ところで、通常の一層構造の活性層をもつ半導体レーザでは、第2図の実験で示すように、高反射膜の反射率を増加するにつれてTEモードとTMモードとが、共に発振しやすくなることが知られている。

このためDFBレーザにおいては、単一縦モード発振する確率が低下する。

この問題点を解決するため、また上述した活性層を量子井戸構造にした半導体レーザを製作して、このレーザを高出力化のために、レーザの出射面に無反射膜、反対側に高反射膜を形成

した。

この構造のレーザでは、第2図の点線で示すように、高反射膜の反射率を増加させても実効的に、 TM/TE の値は小さく抑えられ、 TE モードで発振する確率が高くなる。

また、両端面の反射率が非対称であるときの単一縦モード発振の確率求めて見ると、以下のことがわかった。

DFBレーザでは、端面での回折格子の位相により、発振に必要な閾値利得が異なることが知られている(W. Streifer et al., "Effect of External Reflectors on longitudinal Modes of Distributed Feedback Lasers, 1975, QE-11, pp154-161)。そこで両端面での回折格子の位相を変え、閾値利得差を求め、最も閾値利得の低い2モード間の閾値利得を求めた。単一縦モード発振には全損失に対するモード間の閾値利得差3

%以上必要であると定義した。

この利得差によりレーザのバイアス電流を閾値電流の1.05倍とし、 2Gb/s のRZ信号で変調した時、主副次モード間の強度比が30dBで得られた。

第3図は、共振器長(L) $300\mu\text{m}$ のときの単一縦モード発振の確率のKL(K:結合定数)依存性を示している。パラメータは両端面の反射率である。

第3図からKLを1~2、両端面の反射率の組合せを(1%, 90%)とすることにより、90%の単一縦モード発振確率が得られることが明らかであろう。

第4図は、レーザの共振器長 $150\mu\text{m}$ 、LOSS DIFF. 3%, RB 90%とした場合に、レーザ出射面の反射率を変化させた時、レーザ出射面で規格化した微分量子効率の値を1としたときのKLの値を現わしている。

上述した様に、端面での回折格子の位相によ

り閾値利得が変わるため、量子効率も異なる。このため、第4図では、量子効率の平均値を示している。

出射面の反射率を低下させることにより、すなわち反射率の非対称性を増加させる程、出射面の外部微分量子効率が上昇し、低電流注入で高出力のレーザ光を得られることが明らかである。

第5図は、本発明の実例を示す。第5図Aは、本発明によるレーザ素子の第1の実施例のレーザ光出射方向の断面図、第5図Bは、同素子の横方向断面図である。

このようなレーザ素子を得るには、最初にInp(100)基板1(Snドープ、 $N=1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)の上に、分子線エピタキシャル法(MBE)または、気相成長法(MOCVD、VPE)あるいは液相成長法(LPE)等によりn形InPバッファ層7を2~3 μm の厚さに成長させた後、活性層としての厚さ250ÅのGaInAs層(波長に換算して1.65 μm 組成)と、厚さ330ÅのInP層とを交互

に各5層、符号(3)で示すように成長させる。

次に、干渉露光法とケミカルエッチング技術により、層2の上に回折格子6を形成する。回折格子のピッチは、一次回折を利用する場合は、2400Å、2次の回折を利用する場合は4800Åである。

次に、P形InP層4を2~3 μm の厚さに成長させて後、電極層となる P^+ GaInAs P層5を1 μm の厚さに成長させる。

続いて、通常の埋め込み成長を行う。すなわち、SiO₂をマスクとして逆メサ構造を形成したヘテロユニバーの側面を、P形、n形のInP層、もしくは活性層よりもバンドギャップの大きいGaInAs P層(11)及び(12)を順次成長させ、埋め込み成長行なった。

次に、層5及び12の全面に、P形オーミック電極13としてAu-Znを蒸着し、次にn形InP基板面上に、Au-Ge-Niを蒸着し、n形オーミック電極14を形成する。

次に、共振器長200 μm でへぎ開いた素子

のへき開面の片側に、CVD形ECR装置によ

って、SiNi膜8を無反射となるように4分の1波長($\lambda/4$)の厚みになるように形成した。反対側のへき開面には同じく $\lambda/4$ の厚みにSi₃N₄膜と、真空蒸着によるAu膜を形成して反射率90%程度の高反射膜を得た。

このようにして得られたペレットを、Au-Snハンダにより、ダイヤモンドヒートシンク上にマウントして特性を測定したところ、25℃での連続動作の発振閾値は、15mAであり、光出力40mWにおいても、TMモードが抑圧され、単一モード発振が得られた。また、低反射面の微分量子効率36%であった。

第6図は本発明の第2の実施例を示し、第6図A及びBは、その光出射面とそれに交わる面の断面図である。

このようなレーザ素子を得るには、InP(100)基板1に、回折格子6を形成し、次にこれを基板として、GnInAsP導波路層

2、活性層3、P形InPクラッド層及びGnInAsP電極層5を、LPE法、もしくはM

o-DVD法VPE法により成長させる。

この場合、回折格子のピッチを、活性層の組成で決まる発振波長のピッチに一致させておく。また、各層の格子定数は、第1の実施例の場合と同様であるが、InPの格子定数に合致している。続く工程は、第1の実施例の場合と同様である。レーザ素子の特性も、第1の実施例と同様に得られた。

なお、上述した実施例では、GnInAsP導波路層2が一層構造である場合示したが、その層2も多層量子井戸形層とすることもでき、この場合は、厚さ80Åの1.3 μ mの組成のGnInAsP層と厚さ100Åの1.1 μ m組成のGnInnAsP層と交互に各5層の成長を行なわせる。

また、上述した実施例では、波長1.5 μ mの活性層として、InGaAs/InPMQW

について述べたが、他のMQWであっても良い。

さらに、InPで埋め込んで構造について、述べたが他の埋め込み材料でも良い。

また、その他の波長域のレーザに本発明を適用しても、同様の効果が得られる。

また、上述した実施例では、片端面に $\lambda/4$ のSi₃N₄膜を、他端面にAuを付着したが、材料は任意であり、さらに、反射率も両端面で非対象になるように任意に選ぶことができる。

また、上述した実施例では、一様な回折格子を有するDFBレーザについて述べたが、不均一な回折格子を有するDFBレーザに適用しても同様の作用効果が得られる。

また、いわゆる分布反射形レーザに適用しても同様の作用効果が得られる。

効果

以上述べたように、活性層に多層量子井戸構造を用い、TEモードの利得をTMモードよりはるかに高くすることにより、TE、TMモード間にミラー損失の差がなくなる以上まで端面

の反射率を高くしてもTMモードを抑圧できるため、両端面の反射率を一方を低く他方を高くした組み合わせにすることにより、安定に、Tモード発振が得られ、また、低反射率を有す高出力が得られ、さらに、反射率の非対象性から高い確率で単一モード発振が得られるという特徴がある。

Eモード発振が得られ、また、低反射率を有す高出力が得られ、さらに、反射率の非対象性から高い確率で単一モード発振が得られるという特徴がある。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、量子井戸形レーザのエネルギーと状態密度との関係を示す図である。

第2図は、高反射膜の反射率と発振するTEモード及びTMモードの比との関係を示す図である。

第3図はレーザ素子の両端面の反射率が異なったレーザ素子から得られる単一モードの発振の確率とKLとの関係を示す図である。

第4図は、レーザの共振器長、LOSS D I F F . , R_Rを定めた場合のKLの差異によるレーザ出射面の反射率と内部微分量子効率で

規格化した外部微分量子効率の平均値との関係を示す図である。

第5A及びBは、本発明による半導体レーザー素子の第1の実施例を示す断面図である。

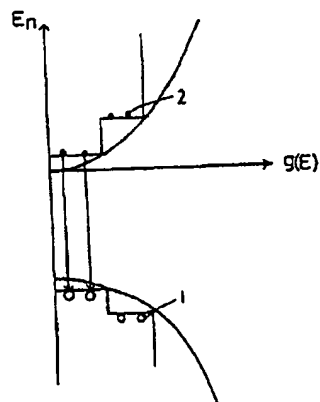
第6図A及びBは、本発明による半導体レーザー素子の第2の実施例を示す断面図である。

- 1…n形InP基板
- 2…n形GaInAsP増波路層
- 3…多量量子井戸形活性層
- 4…P形InPクラッド層
- 5…P形GaInAsP電極層
- 6…屈折格子
- 7…n形InPバッファ層
- 8…高反射膜 Si_3N_4 又は SiO_2
- 9…絶縁膜
- 10…Au
- 11…P形InP層又はGaInAsP層
- 12…n形InP層又はGaInAsP層
- 13…P形オーミック電極
- 14…n形オーミック電極
- 9, 10…高反射膜

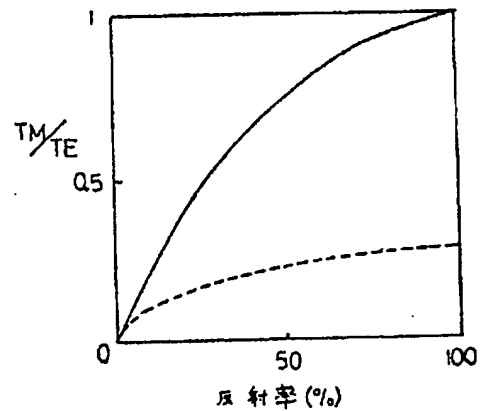
図面の浄書(内容に変更なし)

図面の浄書(内容に変更なし)

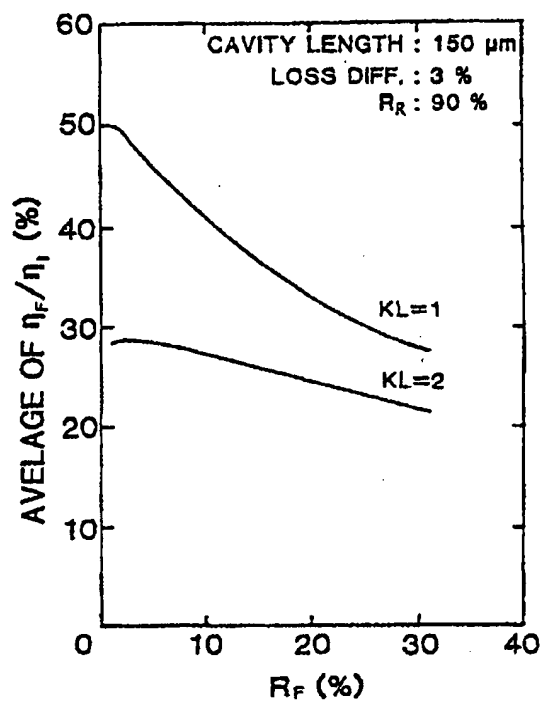
第1図



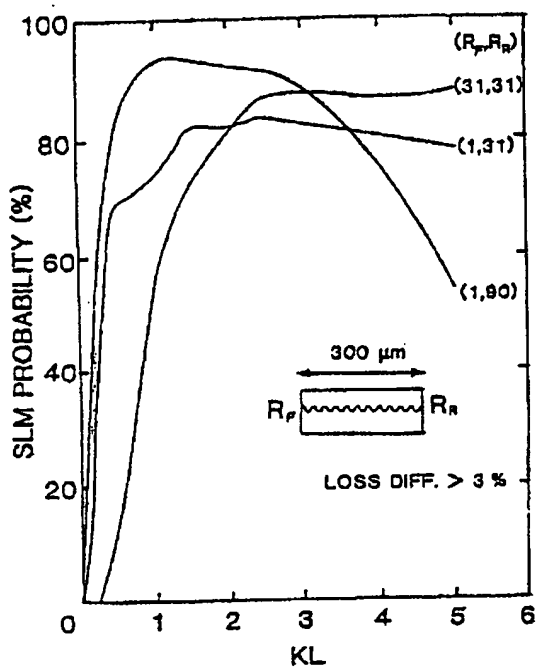
第2図



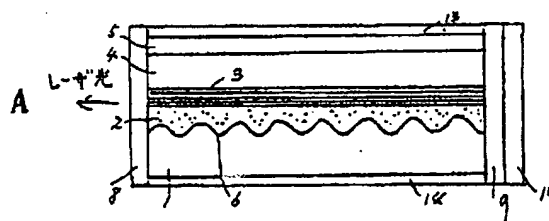
第 4 図



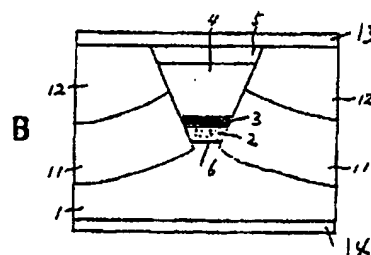
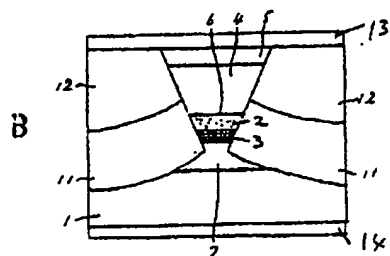
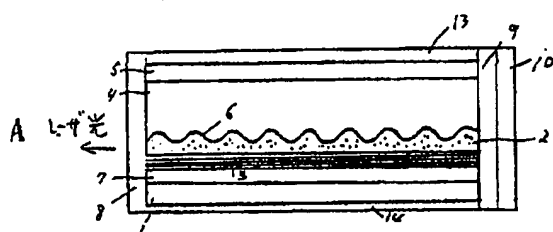
第 3 図



第 6 図



第 5 図



特開昭62-112391(7)

特許補正 (方式)

(1) 図面中、第1及び第2図を別紙のとおり訂
正する。(図面の淨書 内容に変更なし)

以 上

昭和61年2月27日

特許庁長官 宇賀 道 郎 殿

1. 事件の表示 特願昭60-253076号
2. 発明の名称 半導体レーザ
3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

住 所 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号
名 称 (422) 日本電信電話株式会社

代表者 坂 藤 哲

4. 代 理 人

住 所 〒102 東京都千代田区麹町5丁目
7番地 秀和紀尾井町TBR 820号
電話 03-230-4644

氏 名 (B445) 弁護士 田 中 正 樹

5. 補正命令の日付 昭和61年1月28日(発送日)

6. 補正により増加する発明の数 なし

7. 補正の対象 図 面

8. 補正の内容



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
【部門区分】第7部門第2区分
【発行日】平成5年(1993)10月8日

【公開番号】特開昭62-112391
【公開日】昭和62年(1987)5月23日
【年通号数】公開特許公報62-1124
【出願番号】特願昭60-253076
【国際特許分類第5版】

H01S 3/18 9170-4M

手続補正書

平成4年11月12日

特許庁長官 麻生 毅 殿

1. 事件の表示 特願昭60-253076号

2. 発明の名称 半導体レーザ

3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

住 所 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

名 称 (422)日本電信電話株式会社

代表者 児 島 仁

4. 代理人

住 所 〒100 東京都千代田区永田町2丁目4

番7号 秀和永田町レジデンス 502号

電話 03-5251-7791

氏 名 (6445)弁護士 田 中 正 治

5. 補正命令の日付 自発補正

6. 補正により増加する発明の数 なし

7. 補正の対象 明細書の全文

8. 補正の内容 別紙のとおり

明 細 書 (全文訂正)

1. 発明の名称 半導体レーザ

2. 特許請求の範囲

内部に活性層を有し且つ回折格子を有するとともに相対向している2つの第1及び第2の端面を有する分布型遷移半導体レーザにおいて、

上記活性層が、多重量子井戸構造を有し、

上記第1の端面が、へき開面で形成されている場合に比し低い反射率を有する低反射面であり、

上記第2の端面が、へき開面で形成されているよりも高い反射率を有する高反射面であることを特徴とする半導体レーザ。

3. 発明の詳細な説明

発明の属する分野

本発明は、単一縦モード発振を得ることができる半導体レーザに関する。

従来の技術

従来、単一縦モード発振を得ることができる半導体レーザとして、活性領域に回折格子が形

成されている構成を有し、そして、誘導放出光のブラッグ反射を利用して発振を得るように構成された、いわゆる分布帰還形の半導体レーザが提案されている。

このような従来の分布帰還形半導体レーザにおいて、光を一方の端面側からのみ高効率で取り出すには、光出射面側の一方の端面を低反射膜面とし、他方の端面を高反射膜面とすればよいと考えられる。

しかしながら、従来の分布帰還形半導体レーザの場合、活性層が単層であるのが普通であるので、分布帰還形半導体レーザの一方の端面を低反射膜面にし、他方の端面を高反射膜面にして、レーザの高出力化を得ようとするとき、高反射率膜面となる端面の反射率が高くなればなるほど、TEモードとTMモードとの間で、反射率に差がなくなる。

その結果、分布帰還形半導体レーザの一方の端面の反射率を例えば数%とし、他方の端面の反射率を例えば70%以上とした組合せの場合、

本発明による半導体レーザによれば、多重量子井戸構造を有する活性層による偏光面の選択性と回折格子による波長選択性とを有することから、スペクトル幅度の高い発振光を得ることができ、しかも、共振器の一方の端面が低反射面となり、他方の端面が高反射面となることによって、両端面間に反射率の非対称性を有することから、単一縦モード発振を高出力で得ることができる。

また、本発明による半導体レーザによれば、活性層が多重量子井戸構造を有することによって、TEモードの利得をTMモードの利得よりも数 10 cm^{-1} 以上高くすることができるので、TMモードの発振を十分抑圧することができ、また、高出力化及び単一縦モード化のために、共振器の両端面上に、それぞれ低反射膜及び高反射膜を形成しても、TEモードだけの単一縦モード発振を、高出力で安定に得ることができる。

発明の構成及び作用

TEモードとTMモードとの間で、ミラー損失に、分布帰還形半導体レーザの両端面をへき開で形成したときに比べて、差がなくなる。

このため、TEモード発振の他にTMモード発振が起こりやすくなり、TEモード発振とTMモード発振とが同時に生じたり、TEモード発振が注入電流レベルによってTMモード発振に変わったりするため、注入電流レベルに応じた安定な単一縦モード発振が得られなくなる。

また、従来の分布帰還形半導体レーザの場合、両端面間に反射率の非対称性を有していないのを普通としているため、TEモードだけに關しても単一縦モード発振が得難く、また、光出射端面側から高出力が得られない。

発明の目的

本発明は、TEモード、単一縦モード発振を、安定に且つ高い確率で、容易に得ることができ、新規な半導体レーザを提案せんとするものである。

発明の効果

第1図は、従来の分布帰還形半導体レーザにおいて、その活性層を多重量子井戸構造を有するものにした場合の、電子及びホールの状態密度を示している。

活性層を多重量子井戸構造を有するものにした分布帰還形半導体レーザにおいて、活性層を、 100 \AA 以下の厚さにし且つ活性層に比し大きなエネルギーギャップを有するクラッド層で囲めば、活性層において縮退がとけ、活性層のエネルギーレベルが不連続な飛び飛びの単位を構成する。

このような活性層を多重量子井戸構造を有するものにした分布帰還形半導体レーザの場合、活性層において、価電子帯の飛び飛びの単位に存在するホール1と、伝導帯の飛び飛びの単位に存在する電子2とで再結合が生ずることによって、発振が得られる。

多重量子井戸(MQW)構造を有する層の理論(H. Kobayashi et al., "Polarisation-depende

nt gain-current relationship in GaAs-AlGaAs MQW laser diodes". Electron. Lett., 1983, vol. 19, pp. 166-168) によれば、電子とヘビーホールとの再結合は、多量量子井戸構造を有する層に平行なモードだけ、従ってTEモードだけが可能であり、また、電子とライトホールとの再結合は、TEモードとTMモードとの両方で可能である。一方、多量量子井戸構造を構成している2種の層の材料の組合わせによっては、ヘビーホールと電子との間のエネルギーバンドギャップが、ライトホールと電子との間のエネルギーバンドギャップよりも、数eVから十数eV低い。

以上のことから、活性層を多量量子井戸構造を有するものにした分布帰還形半導体レーザの場合、活性層において、電子とヘビーホールとの再結合確率が、電子とライトホールとの再結合確率よりも高く、このため、TEモードの利

得が、TMモードの利得よりも高い。

ちなみに、多量量子井戸構造が、InGaAs系でなる半導体層とInAlAs系でなる半導体層とで構成されている場合、TEモードの利得の方が、TMモードの利得よりも、 750 cm^{-1} 以上高い(K. Wakita et al., "Polarization dependent gain-current relationship in InGaAs/InGaAlAs/InAlAs SCH-MQW laser diodes", Electron. Lett., 1985, vol. 21, pp. 193-194)。

また、分布帰還形半導体レーザにおいて、活性層が多量量子井戸構造を有する場合、その活性層の利得は、活性層が単層でなる場合のその利得に比し高いので、分布帰還形半導体レーザとしての閾値を低くすることができるとともに利得分布の幅を狭くすることができるため、単一縦モード発振を容易に得ることができる。

ところで、活性層が単層でなる従来の分布帰還形半導体レーザにおいて、一方の端面上に高反射膜を付し、他方の端面上に低反射膜を付した場合、TEモード発振とTMモード発振とが、第2図の実線で示すように、高反射膜の反射率を増加するにつれて、ともに生じ易くなる。

このため、従来の分布帰還形半導体レーザの場合、単一縦モードでの発振の確率が低い。

これに対し、活性層を多量量子井戸構造にした分布帰還形半導体レーザにおいて、高出力化のために光出射面側の一方の端面上に低反射膜(無反射膜)を形成し、他方の端面上に高反射膜を形成した場合、第2図の点線で示すように、高反射膜の反射率を増加させても、TEモードがTMモードよりも高い利得を有する。このため、実効的に、TM/TEの比を小さく抑えることができ、よって、TEモードでの発振の確率が高い。

ちなみに、光出射面側の一方の端面上に低反射膜(無反射膜)が形成され、他方の端面上に

高反射膜が形成されていることによって、両端面間に反射率の非対称性を有する分布帰還形半導体レーザにおいて、単一縦モード発振を得るのに全損失に対するTEモード及びTMモード間の最低閾値利得(TEモード及びTMモードの最低閾値利得は、端面での回折格子の位相に依りて異なる(W. Streifer et al., "Effect of External Reflectors on longitudinal Modes of Distributed Feedback Lasers", 1975, QE-11, pp. 154-161)ことから、両端面での回折格子の位相を変えて求める)の差(LOSS DIF.)が3%以上必要であるとして、バイアス電流を閾値電流の1.05倍とし、そして、そのバイアス電流を、2Gb/sのRZ信号で変調したところ、単一縦モード発振が、主副次モード間に30dbの強度比を有して得られた。

第3図は、光出射面側の一方の端面上に低反

射膜（無反射膜）が形成され、他方の端面上に高反射膜が形成されていることによって、両端面間に反射率の非対称性を有する分布帰還形半導体レーザにおいて、両端面間の長さ、従って、共振器長（CAVITY LENGTH）を300 μ mとしたときの、単一縦モード発振の確率（SLM PROBABILITY）（%）のKL（K：結合定数）依存性を、両端面の反射率（ R_F 、 R_R ）をパラメータとして示している。

第3図から、光出射面側の一方の端面上に低反射膜（無反射膜）が形成され、他方の端面上に高反射膜が形成されていることによって、両端面間に反射率の非対称性を有する分布帰還形半導体レーザにおいて、上述したKLを1~2とし、また両端面の反射率（ R_F 、 R_R ）の組合せを（1%、90%）とすることにより、単一縦モード発振が、90%の確率（SLM PROBABILITY）（%）で得られることが明らかである。

また、第4図は、光出射面側の一方の端面上に低反射膜（無反射膜）が形成され、他方の端面上に高反射膜が形成されていることによって、両端面間に反射率の非対称性を有する分布帰還形半導体レーザにおいて、共振器長（CAVITY LENGTH）を150 μ mとし、また、全損失に対するTEモード及びTMモードの最低閾値利得差（LOSS DIFF.）を3%とし、光出射面側ではない端面の反射率（ R_R ）を90%とした場合において、光出射面側の端面の反射率（ R_F ）を変化させたときの、光出射面上で規格化した微分量子効率（AVERAGE OF η_F / η_1 ）（%）を、KL=1の組合とKL=2の場合とについて、示している。なお、第4図では、閾値利得が、上述したように、端面での回折格子の位相によって変わり、このため、量子効率も、端面での回折格子の位相によって変わるので、微分量子効率を平均値で示している。

以上のことから、分布帰還形半導体レーザに

おいて、光出射面側の端面の反射率を低下させ、それによって、両端面間の反射率の非対称性を増加させれば、それに応じて光出射面での外部微分量子効率が上昇するので、低電流注入で、高出力のレーザ光を得ることができることが明らかである。

第5図A及びBは、本発明による半導体レーザの第1の実施例を示す、光出射方向（縦方向）及び横方向の断面図である。

第5図A及びBに示す本発明による半導体レーザは、次のようにして製造されたものである。

すなわち、まず、InPでなり且つ主面を（100）面としているとともにSnがドーパされていることによって $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の不純物濃度を有するn型の半導体基板1上に、分子線エピタキシャル成長法（MBE）、気相成長法（MOCVD、VPE）、液相成長法（LPE）などによって、InPでなり且つn型を有するバッファ層7を、2~3 μ mの厚さに成長させ、次で、そのバッファ層7上に、G

aInAs系（波長に換算して、1.65 μ mの組成を有する）でなり且つ250Åの厚さを有する半導体層とInPでなり且つ330Åの厚さを有する半導体層とが交互順次に積層されていることによって多重量子井戸構造を有する活性層3を、成長させた。

次に、活性層3上に、GaInAsP系（波長に換算して、1.3 μ mの組成を有する）でなり且つ1~0.2 μ mの厚さを有する導波路層2を成長させた。

次に、導波路層2に、その上面側において、回折格子6を、干渉露光法とケミカルエッチング技法とを用いて形成した。この場合、回折格子6を、一次回折を利用する場合、2400Åのピッチを有するものとし、2次回折を利用する場合、4800Åピッチを有するものとした。

次に、上述したようにして回折格子6の形成された導波路層2上に、InPでなり且つp型を有するクラッド層4を、2~3 μ mの厚さに成長させ、次に、そのクラッド層4上に、Ga

InAsP系でなり且つp+型を有する電極付用層5を、1 μ mの厚さに成長させた。

次に、上述した半導体基板1、バッファ層7、活性層3、導波路層2、クラッド層4及び電極付用層5でなる積層体に対し、その上方から、SiO₂でなるマスクを用いたエッチングを施すことによって、その積層体に、逆メサ状部を形成し、次に、その逆メサ状部の側部上に、InP系または活性層3よりもバンドギャップの大きいGaInAsP系でなり且つp型を有する埋込層11と、InP系または活性層3よりもバンドギャップの大きいGaInAsP系でなり且つn型を有する埋込層12とを、それらの順に成長させ、それら埋込層11及び12によって、逆メサ状部を埋込んだ。

次に、電極付用層5及び埋込層12上に連続成長して、Au-Znでなるp型オーミック電極層13を、蒸着により形成し、次に、半導体基板1のバッファ層7側とは反対側の面上に、Au-Ge-Niでなるn型オーミック電極層

14を、蒸着により形成した。

次に、逆メサ状部を有する上述した積層体を、上述した埋込層11及び12、及び電極層13及び14とともに、200 μ mの長さを有する共振器が形成されるように、へき開し、そして、その一方のへき開面上に、CVD形ECR装置を用いて、SiNでなる膜を、4分の1波長($\lambda/4$)の厚みに形成することによって、その膜による低反射膜(無反射膜)8を形成し、また、他方のへき開面上に、同じCVD形ECR装置を用いて、Si₃N₄でなる膜9を同じ $\lambda/4$ の厚さに形成し、さらに、その膜9上に、Auでなる膜10を真空蒸着により形成することによって、それら膜9及び10による、90%程度の反射率を有する高反射膜を形成し、本発明による半導体レーザの第1の実施例を得た。

上述したようにして製造された本発明による半導体レーザの第1の実施例について、その特性を、ダイヤモンドヒートシンク上にAu-Sn半田を用いて装架して測定したところ、25

℃の温度で連続発振動作が得られ、そのときの発振閾値が、15mAであった。また、このとき、TMモード発振が十分抑圧され、単一縦モード発振が得られ、40mWの光出力が得られた。なお、このとき、低反射面での微分量子効率は、36%であった。

第6図A及びBは、本発明による半導体レーザの第2の実施例を示す、光出射方向(縦方向)及び横方向の断面図である。

第6図A及びBに示す本発明による半導体レーザは、次のようにして製造して得られたものである。

すなわち、まず、InPでなり且つ主面を(100)面としているとともにn型を有する半導体基板1に、その上面側において、回折格子6を形成し、次に、その回折格子6の形成された半導体基板1上に、GaInAsP系でなる導波路層2、第5図A及びBに示す本発明による半導体レーザの第1の実施例の活性層3と同様の多重量子井戸構造を有する活性層3、1

nPでなり且つp型を有するクラッド層4及びGaInAsP系でなり且つp型を有する電極付用層5を、それらの順に、LPE法、MOCVD法、VPE法などにより成長させた。この場合、回折格子6を、活性層3の組成で決まる発振波長に匹じたピッチを有するものとして形成した。また、導波路層2、活性層3、クラッド層4及び電極付用層5を、InPでなる半導体基板1と一致した格子定数を有するものに形成した。

以下、詳細説明は省略するが、上述した本発明による半導体レーザの第1の実施例の場合に準じて、上述した半導体基板1、導波路層2、活性層3、クラッド層4及び電極付用層5でなる積層体に、逆メサ状部を形成し、次に、その側部上に埋込層11及び12を形成し、次に、電極付用層5及び埋込層12上、及び半導体基板1の導波路層2側とは反対側の面上に、電極層13及び14をそれぞれ形成し、次に、上述した積層体を、上述した埋込層11及び12、

及び電極層13及び14とともにへき開し、その2つのへき開面上にそれぞれ低反射膜8、及び高反射膜を構成する膜9及び10を形成して、本発明による半導体レーザの第2の実施例を得た。

上述したようにして得られた本発明による半導体レーザの第2の実施例による場合も、詳細説明は省略するが、本発明による半導体レーザの第1の実施例の場合と同様の特性が得られた。

なお、上述した本発明による半導体レーザの第1及び第2の実施例においては、GaInAsP系でなる導波路層2が、単層構造である場合を示したが、導波路層2も、活性層3の構造に準じて、多重量子井戸構造とすることもできる。なお、この場合、導波路層2は、GaInAsP系（波長に換算して、 $1.3\mu\text{m}$ の組成を有する）でなり且つ80Åの厚さを有する半導体層と、GaInAsP系（波長に換算して、 $1.1\mu\text{m}$ の組成を有する）でなり且つ100Åの厚さを有する半導体層とが交互に順次に積

層されている構成とし得る。

また、上述した本発明による半導体レーザの第1及び第2の実施例においては、活性層3の多重量子井戸構造が、InGaAs系でなる半導体層とInPでなる半導体層とが順次交互に積層されている構成を有する場合について述べたが、InGaAs系以外の半導体でなる半導体層とInP以外の半導体でなる半導体層とが順次交互に積層されている構成を有する場合であっても良い。

さらに、上述した本発明による半導体レーザの第1及び第2の実施例において、一方の端面上の低反射膜8がSiN膜でなり、他方の端面上の高反射膜を構成している膜9及び10がそれぞれ Si_3N_4 及びAuでなる場合につき述べたが、一方の端面上にSiNとは異なる材料の膜を低反射膜として付し、また、他方の端面上に、単層または多層の適当な材料でなる膜を高反射膜として付し、両端面間に反射率の非対称性を有せしめるようにすることもできる。

また、上述した本発明による半導体レーザの第1及び第2の実施例においては、一様性のある回折格子6を有する分布型半導体レーザに本発明を適用した場合を示したが、本発明を、一様性のない回折格子を有する分布型半導体レーザに適用しても、また、いわゆる分布反射型半導体レーザに適用しても、上述したと同様の作用効果を得ることができることは明らかであろう。

効 果

上述したところから明らかなように、本発明による半導体レーザによれば、活性層が多重量子井戸構造を有し、また、TEモードの利得をTMモードの利得よりはるかに高くすることができるので、光出射面側とは反対側の端面の反射率を、TEモード及びTMモード間でミラー損失に差がなくなる以上まで高くしても、TMモードの発振を十分抑圧でき、よって、TEモード、単一モードの発振を安定に得ることができ、また、レーザ光を、低反射面側から、高

出力で得ることができる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、活性層が量子井戸構造を有する分布型半導体レーザの活性層における電子及びホールの状態密度を示す図である。

第2図は、活性層が量子井戸構造を有する分布型半導体レーザにおける高反射膜の反射率と発振するTEモード及びTMモードの比との関係を示す図である。

第3図は、両端面間に反射率の非対称性を有する分布型半導体レーザにおける、単一モード発振の確率のKL依存性を示す図である。

第4図は、両端面間に反射率の非対称性を有する分布型半導体レーザにおける、光出射面側の端面の反射率と光出射面上で規格化した微分量子効率の平均値との関係を示す図である。

第5A及びBは、本発明による半導体レーザ素子の第1の実施例を示す、光出射方向（縦方向）及び横方向の断面図である。

第6図A及びBは、本発明による半導体レー

サ素子の第2の実施例を示す、光出射方向（縦方向）及び横方向の断面図である。

- 1 ……半導体基板
- 2 ……導放路層
- 3 ……多重量子井戸構造を有する活性層
- 4 ……クラッド層
- 5 ……電極利用層
- 6 ……回折格子
- 7 ……バッファ層
- 8 ……低反射膜（無反射膜）
- 9、10 ……高反射膜を構成する膜
- 11、12 ……埋込膜
- 13、14 ……電極層

出願人 日本電信電話株式会社

代理人 弁理士 田中正治

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.